

자연 생태계로 부터 자외선 및 방사선 내성 박테리아의 분리 및 특성 연구

이영남 · 이인정

충북대학교 자연과학대학 미생물학과

Isolation and Characterization of Ultra-Violet and Gamma-radiation Resistant Bacteria from Natural Habitats

Lee, Young Nam and In-Jeong Lee

Department of Microbiology, College of Natural Sciences,
Chungbuk National University, Cheong Ju, 360-763, Chungbuk

ABSTRACTS : Attempts to isolate the naturally occurring ultra-violet resistant bacteria from environmental sources were made. The isolates, designated No. 29, 100, and 107, among numbers of bacterial isolates revealed a remarkable resistance to UV ray, whose degree of resistance in dose/response kinetics was comparable to that of an endospore-former, *Bacillus subtilis*. In a range of 100-300 Jm²/min of UV irradiation, the isolates exhibited 500-1000 fold resistance compared with *E. coli*. The isolates appeared to possess cell-bound pigment of orange or crimson-red. The isolate 29 is spherical in pairs or tetrads, whereas the isolates 100 and 107 are rod. All are Gram-positive bacteria and seemed to be non-endospore-bearer.

A number of biochemical studies pursued on the isolates suggested that they are quite different to each other. Electron microscopic examination and the physiological characters of the isolate 29 suggested that this UV resistant spherical bacterium might be one species of *Deinococcus*, probably *Deinococcus radiophilus*. Since there is no documents on UV resistant, Gram-positive, non-sporeformer bacillus so far, the isolates 100 and 107 might be turned out as new kinds of UV resistant bacteria occurring in nature by further investigation.

KEY WORDS □ red-pigmented bacteria, U. V. resistant, *Deinococcus*, tetrads

자연생태계의 도처에 수없이 많은 종류의 미생물들이 분포, 서식하고 있는데, 그중 우리에게 인지된 것은 극히 일부에 지나지 않으며, 아직도 대부분이 미발견의 상태로 남아 있다고 한다(Brock, 1983). 근자에도 신종의 미생물, 특히 독특한 성상의 세균류가 새롭게 분리. 보고되어 미생물학계에 새로운 지식을 더하여 주고 있는데, 미국의 동부 지방, 하수처리장에서 분리한 자성박테리아(磁性細菌, magnetotactic bacterium, Blakemore, 1982), 고농도의 염수(brine pool)에서 분리한 사각형 세균(square bacterium, Walsy, 1980, Kessel and Cohen, 1982), 심부의 해양환경에서 분리한 절대 호기압성 박테리아(obligately barophilic bacterium, Yayanos, 1981)등은 근래에 보고된 신종 세균의 몇몇의 예에 지나지 않는다. 이러한 박테리아는

보통의 생명체는 생존에 부적합한 환경에 (unusual, extreme environment) 적응하면서 서식하는 생명체에 대한 이해라는 순수 과학면에서 과학인의 상당한 관심을 불러 일으키기도 한다.

자외선(ultra-violet ray), 방사선(X-ray, γ -ray, cosmic ray) 등 단파장의 전자파(electromagnetic waves)는 생명체에 막심한 해를 줄 수 있다. 이들은 유전물질인 DNA에 손상을 끼침으로, 이에 따른 유전적 질환, 생리대사의 이상(예, 암의 발생) 등 정상적인 생명활동을 저해하기도 한다. 그런데 자연계에는 상당량의 자외선이나 방사선 조사에도 견디는 자외선/방사선 내성 세균들이(ultra-violet ray resistant bacteria) 서식하고 있음이 보고되었다.

현재 세균학의 백과 사전이라 할 수 있는 "BERGEY'S MANUAL OF SYSTEMATIC BACTE-

실험 재료 및 방법

RIOLOGY”(1986년 출판)에 수록된 자연계에서 분리한 자외선 내성 세균은 오직 한 종류 뿐인 데 이는 *Deinococcaceae* family에 속한 Genus *Deinococcus* (Gram+, coccus)이다. 이 세균은 Davis 등 (1963), Lewis (1973)에 의하여 살균의 목적으로 자외선/방사선을 조사한 육식품류에서 최초로 분리되었는데, 그 후 수 년동안 이루어진 세균형태학적, 생리 및 생화학적 연구 업적을 토대로 하여 1980년대에 이르러 비로서 신종의 세균으로 국제적 공인을 받아 상기의 책에 수록되었다(Feltham, 1979, Murray, 1984). 자외선 내성 세균인 *Deinococcus*는 처음에는 자외선 멸균 시설이 된 식품 가공공장이나 자외선/방사선을 이용하여 처리한 버섯 재배용 나무토밥(Ito, 1977)등 인위적으로 조성된 환경(induced environment by U. V. irradiation)에서 분리되었으나 Sanders와 Maxsy(1979)가 *Deinococcus*균이 자외선/방사선 뿐만 아니라 건조, 화학약품 등에도 강한 내성을 지니고 있는 성질을 이용하여 자연환경 (non-induced environment by U. V.)에서도 분리할 수 있음을 보고한데 이어, Kristensen과 Christensen(1981)은 피복류, 수건 등 일상용품과 공중보건 실험실 등 청정한 공기에서 자외선 내성 세균을 분리하였음을 보고하였다. 이와같은 보고로 미루어 보아, 자외선 내성 세균이 자연계의 도처에 분포하고 있음이 짐작되나, 어떤 자연환경에, 어떤 성상의 자외선 내성세균이 서식, 분포하는지에 대하여는 연구가 미흡하다.

Genus *Deinococcus*만이 유일하게 공인 받은 자외선 내성 세균임은 이미 언급하였다. 그러나 Canada의 Western Ontario 대학교의 Murray교수(자외선 내성 세균을 많이 연구한 분임)가 본 연구자에게 보낸 근래의 사신에 의하면 Genus *Deinococcus*이외에도 자연계에는 다른 종류의 자외선 내성 세균이 있음을 시사하였다. 따라서 본 연구자는 자연환경에 서식, 분포되어 있는 자외선/방사선 내성 세균에 관심을 갖게 되었으며, 어떤 종류가 있으며, 이들의 생명학적 특성은 어떠하며, 어떤 기전에 의하여 자외선/방사선에 내성을 나타내는지에 대한 체계적 연구가 이루어져야 된다고 생각하고 있다.

이에 자외선/방사선 내성 세균에 대한 연구의 우선 단계로 직접 자외선 내성 세균을 분리하는 시도를 하였으며, 분리한 세균들에 대한 세포형태학적 성상 및 몇가지의 세균 생리 및 생화학적 특성을 살펴보았다.

배지

본 연구에 사용한 각종의 배지는 미국의 Difco 회사, BBL사 또는 일본의 Junsei사 제품을 사용하였다. 자외선 내성 세균을 분리하기 위해 기본 배지로 TYG broth(trypitone 5g, yeast extract 3g, glucose 1g/liter)나 agar 1.5%를 첨가한 TYG agar를 사용하였다(Counsell & Murray, 1986)

시약

본 연구에 사요한 시약은 국내 제품이나 외국 제품을 막론하고 “시약 1급”을 사용하였다.

사용균주

Escherichia coli HB 101 strain 과 *Bacillus subtilis* CM strain을 UV dose/response kinetics 실험에 대조 균주로 사용하였다.

자외선 조사

무균실의 자외선 chamber안에서 시행하였다. 자외선 등은 254nm의 파장을 낼 수 있는 것으로 10Watt, 길이 40cm, 등의 직경 2cm의 장원형 등(일본 삼공 살균 램프사, GL10)을 사용하였다. 시료나 균체 액은 등의 직하 10cm되는 곳에 놓은 후 일정한 시간동안 자외선을 조사하였다. 자외선을 조사받은 시료나 균액은 가시광선이 닿지 않도록 암소에서 취급하였다.

시료 및 자외선 내성 세균의 분리

충북대학교 주변의 자연환경, 경상북도 고리 및 월성 등 원자력 발전소가 위치한 주변 환경에서, 하수물, 하수니토, 모래흙, 나무뭍 부식토, 샘물, 퇴비흙 등을 시료로 취하였다. 시료 2g 정도 또는 5ml를 자외선 등아래 10cm거리에 놓고 15분간 처리한 후(이는 약 480Jm²/Min의 조사량과 맞먹음) 이들을 TYG broth에 접종한 후 30도의 진탕 배양기에서 배양하였다. 배양된 균액을 멸균 초자 평판접시에 7ml 넣어 접시 밑바닥이 얇게 덮히도록 편뒤 상기처럼 자외선 조사를 한뒤, 균액 0.1ml을 TYG agar plate에 균일하게 도말하거나, 또는 균액 1ml을 7ml TYG broth 접종, 30도에서 하루 정도 배양하였다. 이렇게 계대 배양된 균액이나, 경우에 따라서는 적절히 희석한 원시료 0.3-0.5 ml을 직접 TYG agar plate 에 골고루 도말하여 균을 분리하기도 하였다. 이는 Murray팀(Brooks & Murray, 1981)이 제시한 방법을 변형하여 따른 것이다. 대기에서 자외선 내성 세균을 분리하기 위해서는 TYG agar plate 를 공기에 10분 정도 열어 놓아 낙하된 균들을 수집하였다. 자외선 내성 세균인 *Deinococcus*가 복합 배지인 TYG plate에서 적응의 집락

을 형성하기에 본 연구자도 집락 중 특히 주홍, 붉은색, 갈색, 황색 색깔을 띠는 집락에 우선 관심을 두고 이러한 균들을 계대 배양하여 순수한 균으로 분리하였다. 분리한 균 모두에 대하여 그람씨 염색(Hucker's modification, Manual of methods for General Bacteriology, by ASM, 1981, p26)을 하여 광학 현미경으로 세균의 염색상, 모양, 배열 및 기타의 성상을 관찰하였다.

자외선 dose-response kinetic 연구

순수하게 분리한 수 십개의 균주들에 대하여 자외선에 대한 강도를 우선 간편하게 측정하기 위하여 각기 균주의 배양액을 멸균 증류수로 적절히 희석한 후 일정량을 TYG agar plate 위에 균일하게 도말하고, 자외선 등 직하 10cm되는 곳에서 0, 5, 10분간 조사, 조사된 것들을 30도의 배양기에서 2-3일간 배양 후 나타난 집락의 수를 샘플링으로 균주들의 자외선에 대한 내성의 여부를 screening 하였다. 5분간 조사된 TYG agar plate에 나타난 집락의 수가 자외선이 전혀 조사 안된 것(0분 처리)에 비하여 극심하게 줄어든 것은 자외선에 내성이 없는 균주로 간주하고 정량적 dose-response kinetic 연구에서 제외하였다. 이와 같은 rough screen 실험에 합격된 균주에 대하여는 세균들을 TYG 배양액에 접종하여 지수기에 이르도록 진탕 배양한 뒤, 균액 5-6ml 정도를 멸균된 초자 평판 접시에 균일하게 펼쳐 놓은 뒤 상기의 자외선 조사 장치에서 0, 0.5, 1, 2, 5, 8, 10분 자외선을 조사한 후 균액을 멸균 증류수로 적정한 배수로 희석, 희석된 균액 0.05ml, 또는 0.1ml을 TYG agar plate에 확산 도말하여 30도 배양기에서 2-3일 배양하였다. 각기의 희석액 일정량에 대하여 적어도 3장의 TYG-한천배지를 사용하여, 조사 시간에 따른 집락의 수(colony forming unit/ml)를 평균하여 U. V. dose response kinetics 연구를 하였다. 이러한 kinetics 연구의 적합성을 알아보기 위하여 자외선에 내성이 없음이 널리 알려진 endo-sporeformer 인 *Bacillus subtilis* CM, 자외선에 민감한 *Escherichia coli* HB 10 1을 실험의 대조 균주로 택하여 같은 방법으로 U. V. dose-response kinetics를 살펴보았다.

방사선 내성 시험

U. V. dose response kinetics에서 자외선 내성 세균으로 추정되는 균만을 택하여, 50mM Na-K-phosphate buffer (pH=6.9)에 현탁시킨 뒤, 연세의 료원에 방사선조사를 의뢰(Co^{60} , 500-1000rad), 조사받은 균들의 생존정도를 조사받지 않은 것과 비교하였다.

분리한 자외선 내성 세균의 특성 연구

Gram staining Hucker의 방법으로 행하였다.

집락의 모양 관찰

TYG agar plate에서 색소 형성과 집락의 모양을 관찰했다.

세균의 크기 측정

그람 염색된 균체를 집안 원판과 대물미세 측정기를 부착시킨 광학현미경으로 측정하였다. 10-20마리의 균체의 크기를 측정 후 이들의 평균값을 택하였다. 한편 주사전자현미경으로 균체의 사진을 찍어 크기를 재어봄으로 크기 측정에 신중을 기하였다. 주사전자현미경용의 시료는 균체를 Na-K-phosphate buffer(pH=6.9, 50mM)로 세 번 세척한 후 2.5% glutaraldehyde로 상온에서 2시간 고정 후 다시 상기의 phosphate buffer로 세 번 세척하여 준비했다(Scanning Electron Microscope, Hitachi Model S-507, Japan)

세균의 모양 관찰

광학 현미경과 투시전자 현미경으로 관찰하였다(Zeiss, EM 109, W. Germany). 투시전자 현미경용 균체 시료는 균체를 2.5% agar에 혼합시켜 균화 뒤 2.5% glutaraldehyde 용액에서 3-5시간 고정 후 Na-K-Phosphate buffer로 15분 씩 세 번 세척하였다. 고정시킨 agar 덩어리를 0.2mm 정도로 잘게 자른 뒤 1% OsO_4 -50mM 인산 용액에서 4시간 고정하고 다시 상기의 Na-K- PO_4 용액으로 15분씩 두 번 세척하였다. 이렇게 준비된 시료는 짐중농도의 ethanol 탈수, propylene oxide 치환 과정을 거쳐 EPON 수지에 포매되었다. ultra-thin section과정을 거쳐 각기 15분 간의 uranyl acetate 와 lead citrate로 염색한 뒤 현미경으로 관찰하였다.

poly- β -hydroxybutyrate 축적 여부 판정 실험

균체를 청정한 초자 슬라이드에 도말 후 0.3% sudan black (in ethylene glycol)액으로 5-15분간 염색한 후, 염료를 물로 씻고, 균체를 xylene 용액 속에 잠시 담갔다가 0.5% aqueous safranin 액으로 대비 염색한 후 광학현미경으로 sudan black dye에 의하여 염색된 granules의 존재를 살피었다.

세균생리 및 생화학적 특성에 관한 실험

미국 미생물학회에서 발간한 Manual of Methods for General Bacteriology (1981, P. Gerhart, editor)의 내용을 참조하여, sugar fermentation test, MR/VP test, citrate utilization test, nitrate reduction, urease production, catalase production, oxidase presence, esculin hydrolysis, growth in 5% NaCl containing broth, ONPG test를 실시하였다.

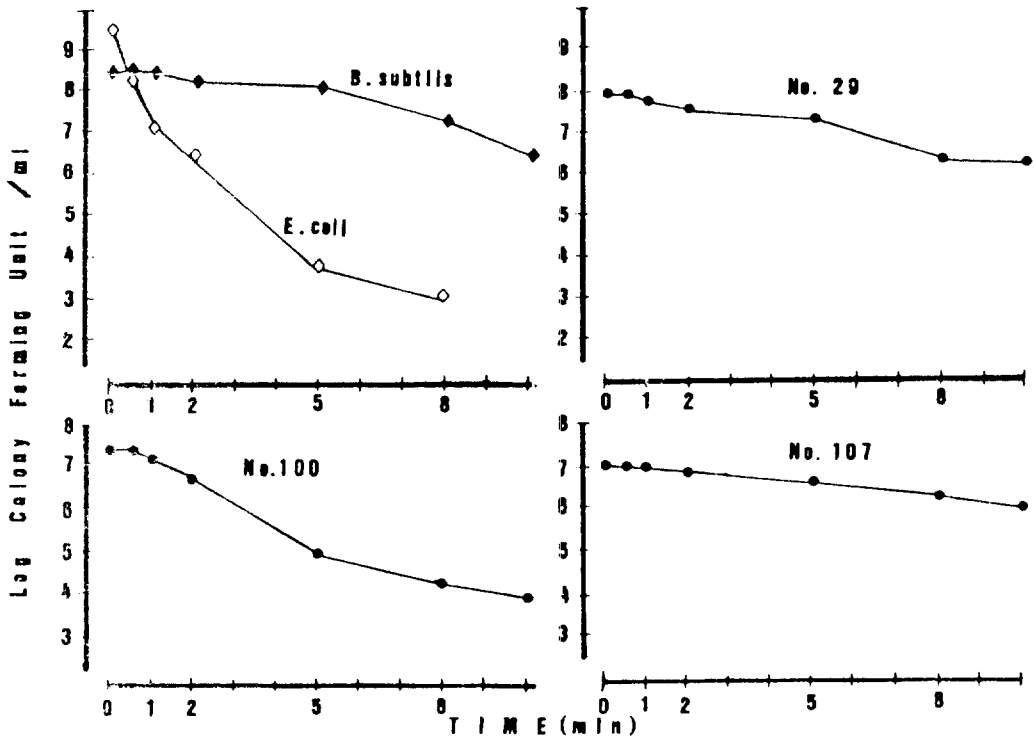


Fig. 1. Ultra-violet ray dose-response kinetics of bacterial isolates from natural environments. *Bacillus subtilis* CM strain and *E. coli* HB 101 strain were employed as controls of resistant and sensitive organisms to U. V. ray, respectively. Irradiation was done with 10 watt, 40cm long and 2cm in diameter of U. V. germicidal lamp. Colony forming unit(CFU) was the survival number of organisms after irradiation for the given length of time at 10cm distance under the lamp.

결과와 고찰

순수하게 분리한 수 십주의 균주 가운데, TYG agar plate 에서, 황금색, 미색, 적홍, 분홍, 심홍색, 갈색 등 독특한 색깔을 띠는 것을 대상으로 자외선에 대한 내성 여부 시험을 시행하였는 바, 색깔을 띠는 3균주, 분리주 번호 29, 100, 107만이 현저한 내성을 지닌 것으로 밝혀졌다. 적홍색을 띠는 균주 가운데서도 자외선에 대하여 예민함을 보이는 것도 상당히 있어서 (예, 균주 40, 50, 120-2) 세균의 적색 색소 형성 능력이 자외선 내성세균의 선별에 도움이 될 수 있는 기준이기는 하나, 선별에 절대 기준이 될수 없다고 사료된다. 이들 분리된 자외선 내성 균주들은 충북대학교 주변 환경에서 채취한 하수 및 하수니토, 대기로부터 분리되었다. Fig. 1은 U. V. dose-reponse kinetics 연구에 대조 세균으로 사용한 자외선 내성 세균인 *B. subtilis* CM strain과 자외선 예민 균인 *E. coli* HB 101이 보여주는 자외선 내성양상과 자연계에서 분리

한 균주 29, 100과 107의 U.V. dose-response kinetics의 양상으로, 이 분리 균주들은 자외선에 상당한 내성이 있다고 생각되며, 특히 균주 29와 107은 *B. subtilis*와 비교될 정도의 내성을 지니고 있다고 할 수 있다. 이들 세 균주의 방사선 조사 후의 생존율은 방사선 조사하지 않은 것에 비하여 큰 차이가 없는 것으로 나타나, gamma선에 대하여서도 내성이 있다고 판단되었다.

자연계로부터 분리한 자외선 내성 균주, 29, 100과 107은 모두 그람 염색에 양성인데, 107은 Gram variable로 보는 것이 보다 옳겠다. 이들의 형태는 29는 직경 약 1.5 μ m의 구균으로 단독, 쌍 또는 사구균으로 존재하며(Fig. 2의 A) 100과 107은 모두 간균으로 100번 균주는 1.1 μ m폭에 1.57 μ m의 길이이어서, 107번 균주, 0.93 μ m 폭, 1.67 μ m길이에 비하여 다소 오동통한 모양이다(Fig. 2의 B는 100번 균주의 전자 현미경 그림). 분리한 자외선 내성 세균의 집락은 모두 윤택하면 볼록한 모양으로 집락



Fig. 2. Transmission electron micrographs of U. V. resistant bacteria, isolate 29(A) and 100(B).

의 주변이 균일하고 부드러웠다. TYG agar plate에서 29번 균주와 107균주는 주황(yellow-orange) 또는 주홍(orange)의 색깔을 띄는데 비해 107번 균주는 심홍의 색깔을 보였다. 이들 세 균주 가운데 107균주만이 poly-β-hydroxy-butyrat알맹이를 지니고 있으며 endospore는 어느 균주에서도 확인되지 않았다. 이들 세 균주의 최적 성장 온도는 약 30도이다. 이들의 성장 속도는 다른 chemoheterotrophs에 비하여 다소 느리다고 생각되어지는데, 이는 TYG배양액에서 진탕 배양시 48-72시간 배양하면 OD 600=0.7-0.9에 이르며 곧이어 성장 정체가 들어가기 때문이다. 그러나 현재는 자외선 내성 균주들의 최적 성장 조건이 규명이 안된 상태이기에, 앞으로 연구 결과에 따라 성장 속도를 보다 빠르게 할 수 있다고 생각된다. 분리한 자외선 내성 균주 29,100과 107의 일반적 성질이 Table 1에 정리되어 있다. Table 2에는 분리 균주들의 생리 및 생화학적 특성이 요약되어 있다. 분리균주들의 당 발효 산물에 차이가 있는 것 이외에도 특히 100번 균주는 탄소원으로 citrate를 이용하지 못하여 다른 두 균주로부터 구별이 되기도 한다. 이외에도 이들 세 균주는 nitrate reduction, esculin hydrolysis, ONPG test에 각기 다른 성질을 갖고 있음을 보여주고 있다.

이상의 결과로 보아 자연계에서 분리한 균주중 29,100과 107은 자외선에 내성이 있는 세균으로, 세균 형태학적으로나, 생리 및 생화학적 특성이 서로 다른 세균으로 생각된다. 이 가운데 29균주는 자외선 내성이 있고, 그림씨 염색에 양성, 균의 모양, 크기, 집락의 색깔 등으로 미루어 보아 Genus *Deinococcus*에 속하는 것으로 사료되고 있다. 현

Table 1. General Properties of the Isolates 29,100 & 107

Isolates	29	100	107
Gram reaction	+	+	+
Cell size & shape	1.5um coccus	1.1/1.57um rod	0.93/1.67um rod
PHB*deposits	-	-	+
Colony color	orange-red	orange-red	red
Colony morphology	smooth, convex, regular edge	smooth, convex, regular edge	smooth, convex, regular edge
Growth at 30°C/37°C/25°C	+++/ +++	+++/ +++	+++/ +++

* : polymer of beta-hydroxybutyrate.

Table 2. Biochemical Properties of the Isolates

Isolates	29	100	107
sugar fermentation			
Glucose	A-/G-	A+/G-	A-/G-
Fructose	A-/G-	A+/G-	A-/G-
Lactose	A-/G-	A+/G-	A-/G-
Sucrose	A-/G-	A+/G-	A-/G-
Mannitol	A-/G-	A+/G-	A-/G-
MR/VP test	-/-	-/+	-/-
Citrate utilization	+	-	+
Nitrate reduction	-	-	+
Urease production	-	-	-
Catalase/oxidase	+/+	+/+	+/+
Esculin hydrolysis	+	+	-
Growth in 5% NaCl	+	+	+
ONPG test	-	+	-

재 Genus *Deinococcus*에는 4종(species)이 공인되어 있는데 이들은 *D. radiodurans*, *D. proteolyticus*, *D. radiophilus*와 *D. radiopugnans*이다. 이들 *Deinococcus*는 외적 형태학적으로 *Micrococcus roseus* 유사하나, 미세구조나 세포구성성분에 있어서 상당한 차이가 있음이 보고되었다(Thornley 등, 1965, Work와 Griffiths, 1968, Sleytr 등, 1973, Lancy와 Murray, 1978, Thompson과 Murray, 1982). *Deinococcus*의 세포벽 성분으로 ornithine이 존재하는 것이 흥미롭고, 상당히 두꺼운 세포벽 층이 있으며(Thompson 등, 1982), 세포벽 밖에 외막(outer membrane)이 있음과 외막이 독특한 극성 지질(polar lipids)로 구성되어 있음도 보고되었다(Thompson 등, 1980, Thompson과 Murray, 1981, Thompson 등, 1982). 특히 *D. radiodurans*는 세포벽에 직경 10nm 정도의 틈이 반복하여 배열되어

있다. (틈을 fenestration이라 부른다). 29균주의 미세 구조를 투시 전자 현미경으로 관찰한 결과, Genus *Deinococcus*에서 볼 수 있는 것처럼 (Thompson 등, 1982), 세포벽의 밖에 외층이 있음을 볼 수 있었다. 그러나 좀더 많은 연구가 있어야 된다고 생각은 되나 아직 세포벽에 틈(fenestration)을 관찰하지는 못하였다. 현재 29균주의 세포벽 구성 물질의 분석이나, 외막(outer membrane)의 지질 성분의 분석은 이루어지지 않았으나, 이제까지의 연구 결과로 보아, 29균주는 4종의 *Deinococcus* 가운데 *D. radiophilus*와 유사한 것으로 생각된다(Table 3). 29

Table 3. Characteristics for *Deinococcus* Spp. and the isolate 29

Bacteria Characteristics	<i>D. radiodurans</i>	<i>D. radiophilus</i>	29
Predominant fatty acid	16:1	16:1	ND*
Fenestrated peptidoglycan layer	+	+	Not observed
Growth in 5% NaCl	-	+	+
Nitrate reduction	-	-	-
Acid from glucose, fructose	-	-	-
Catalase test	+	+	+
Esculin hydrolysis	-	-	+
ONPG test	-	-	-
Cell size	1.0~2.0um	1.0~2.0um	Ca. 1.5um
Colony color	red	orange-red	orange-red
Growth at 37°C	+	+	+
Resistant to U.V. radiation	yes	yes	yes

* ND: not determined

균주를 보다 명확하게 동정, 분류하기 위하여는 이 균에 대한 보다 정밀한 생화학적 분석과 전자 현미경적 관찰이 요구되고 있다. 앞으로 29균주의 16S-ribosomal RNA를 분석하여 Genus *Deinococcus*의 16S-ribosomal RNA와 비교하는 것(Brooks 등, 1980)도 절실히 요구되고 있다.

균주 100과 107은 그람 양성 내지는 variable 간균으로 자외선에 내성을 지닌 세균이다. 최근 그람 음성, 간균으로 방사선에 내성을 지닌 세균을 동물의 변과 담수어에서 분리하였다는 보고(Oyaizu 등, 1987)가 한 예 있지만, 아직 그람 양성 세균으로 자외선 내성 세균은 보고가 되어 있지 않기에 균주 100과 107이 신종의 세균일 가능성을 배제하지 않고 있는데, 이를 뒷받침하기 위하여는 다각적으로 보다 많은 연구가 이루어져야 된다고 생각된다.

사 사

이 연구를 수행하는 동안 실험실의 여러가지 일에 충실하게 보조 하여준 충북대학교 자연과학대학 미생물학과 학생 강복식, 정재황군에게 감사드립니다.

참고문헌

1. **Blakemore, R. P.**, 1982. Magnetotactic bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* **36**: 217-238.
2. **Brock, T. D., D. W. Smith and M. T. Madigan**, 1983. *Biology of Microorganisms* (4th ed.) pp 757-758, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA
3. **Brooks, B. W., R. G. E. Murray, J. L. Johnson, E. Stackebrandt, C. R. Woese, G. E. Fox**, 1980. Red-pigmented Micrococci; A basis of taxonomy. *Int. J. of Systematic Bacteriol.* **30**: 627-646.
4. **Brooks, B. W. and R. G. E. Murray**, 1981. Nomenclature for "*Micrococcus radiodurans*" and other radiation resistant cocci: Deinococcaceae fam. nov. and *Deinococcus* gen. nov., including five species. *Int. J. of Systematic Bacteriol.* **31**: 225-230.
5. **Counsell, T. J. and R. G. E. Murray**, 1986. Polar lipid profiles of the Genus *Deinococcus*. *Int. J. of Systematic Bacteriol.* **36**: 202-206.
6. **Davis, N. S., G. J. Silverman and E. B. Masurovsky**, 1963. Radiation -resistant, pigmented coccus isolated from haddeck tissue. *J. Bacteriology* **86**: 294-298.
7. **Feltham, R. K. A.**, 1979. A taxonomic study of the *Micrococcaceae*. *J. Appl. Bacteriol.* **47**: 243-254.
8. **Ito, H.**, 1977. Isolation of *Micrococcus radiodurans* occurring in radurized sawdust culture media for mushrooms. *Agric. Biol. Chem.* **41**: 35-41.
9. **Kessel, M. and Y. Cohen**, 1982. Ultrastructure of square bacteria from a brine pool in Southern Sinai. *J. of Bacteriology* **150**: 851-860.
10. **Kristensen, H. and E. A. Christensen**, 1981. Radiation resistant microorganisms isolated from textiles. *Acta. Pathol. Microbiol. Scand. Sect. B.* **89**: 303-309.
11. **Lancy, P. and R. G. E. Murray**, 1978. The envelope of *Micrococcus radiodurans*: Isolation, purification and preliminary analysis of the wall layers. *Can. J. of Microbiol.* **24**: 162-176.
12. **Lewis, N. F.**, 1973. Radio-resistant *Micrococcus radiophilus*: sp. nov. isolated from irradiated Bombay duck (*Harporodon nehereus*). *Curr. Sci.* **42**: 504-508.
13. **Murray, R. G. E.**, 1984. Family II, Deinococcaceae, pp 1035-43, in R. E. Buchanan and N. E. Gibbons (ed), *Bergey's Manual of systematic Bacteriology*, 1st ed, the Williams and Wilkins Co., Baltimore, USA
14. **Oyaizu, H., E. Stackebrandt, K. H. Schleifer, W. Ludwig, H. Pohla, H. Ito, A. Hirata, Y. Oyaizu and K. Komagata**, 1987. A radiation-resistant rod-shaped bacterium, *Deinobacter grandis*. gen. nov., sp. nov., with peptidoglycan containing ornithine. *Int. J. of Syst.*

- Bacteriol. **37**: 62-67.
15. **Sanders, S. W. and R. B. Maxsy**, 1979. Isolation of radiation resistant bacteria without exposure to radiation. *Appl. Environ. Microbiol.* **38**: 436-439.
 16. **Sleytr, M. B., M. Kocur, A. M. Glauert and M. J. Thornley**, 1973. A study of freezeetching of the fine structure of *Micrococcus radiodurans*. *Arch. Mikrobiol.* **94**: 77-87.
 17. **Thompson, B. G., R. Anderson and R. G. E. Murray**, 1980. Unusual polar lipids of *Micrococcus radiodurans* strain Sark. *Can. J. of Microbiol.* **26**: 1408-1411.
 18. **Thompson, B. G., and R. G. E. Murray**, 1981. Isolation and characterization of the plasma membrane and outer membrane of *Deinococcus radiodurans*. *Can. J. of Microbiol.* **27**: 729-734.
 19. **Thompson, B. G. and R. G. E. Murray**, 1982. The fenestrated peptidoglycan layer of *Deinococcus radiodurans*. *Can. J. of Microbiol.* **28**: 522-525.
 20. **Thompson, B. G., R. G. E. Murray and J. F. Boyce**, 1982. The association of the surface array and the outer membrane of *Deinococcus radiodurans*. *Can. J. of Microbiol.* **28**: 1081-1088.
 21. **Thornley, M. J., R. W. Horne and A. M. Glauert**, 1965. The fine structure of *Micrococcus radiodurans*. *Arch. Mikrobiol.* **51**: 267-289.
 22. **Walsby, A. E.**, 1980. A Square-bacterium. *Nature (London)* **95**: 641-657.
 23. **Works, E. and H. Griffiths**, 1968. Morphology and chemistry of cell walls of *Micrococcus radiodurans*. *J. of Bacteriol.* **95**: 641-657.
 24. **Yayanos, A. S., A. S. Dietz and R. van Boxtel**, 1981. Obligately barophilic bacterium from a marina trench. *Proc. Nat'l Acad. Sci., USA.* **78**: 5212-5215.

(Received Aug. 22, 1989)